

Manejo de Transformadores de Potencia: Análisis de Salud de Activos para Evaluación de Riesgos

Roberto Martinez Betancourt
Principal Engineer – Field Services
Doble Engineering

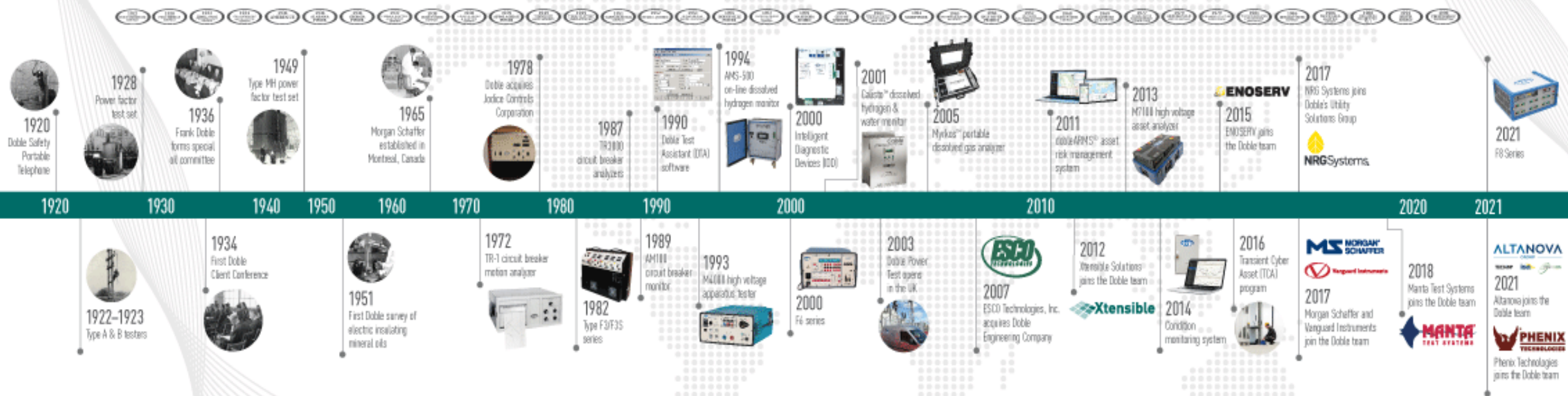
Altanova History

- 1938 I.S.A. Istrumentazioni Sistemi Automatici S.r.l. is established in Taino ITALY
- 1999 TECHIMP was born as a spin-off from the University of Bologna ITALY.
- 2017 I.S.A. and TECHIMP merge giving birth to the ALTANOVA GROUP
- 2019 INTELLISAW joins ALTANOVA GROUP
- 2021 ALTANOVA GROUP becomes part of ESCO Technology Group and joins the Doble Engineering Company, as part of the USG division.



Doble History

100 YEARS OF SERVICE TO THE ELECTRIC UTILITY INDUSTRY



DOBLE- Altanova Hoy



100
PAISES



12

UBICACIONES A
NIVEL GLOBAL



150+
EMPLEADOS



150+

SOCIOS DE VENTAS



5550+

CLIENTES A NIVEL
GLOBAL



Parte de ESCO
Technologies' Utility
Solutions Group

MARCAS DE PRODUCTOS



Nuestras Soluciones

Equipos de pruebas eléctricas

Pruebas de mantenimiento de rutina.
Útil en fases específicas del ciclo de vida de los activos:

Operación / Mantenimiento
Extensión de la vida útil
Puesta fuera de servicio o Desmantelamiento.

Servicios especializados

Oferta diversificada según el ciclo de vida del activo eléctrico:

Instalación y puesta en marcha.
Prueba de diagnóstico avanzado.
Análisis de los datos.
Consultoría.
Capacitación teórica y práctica.



Sistemas de monitoreo (permanente)

Pase de un mantenimiento basado en el tiempo a un **mantenimiento basado en la condición**.

Concéntrese en el **mantenimiento predictivo** y cambie el enfoque del costo del valor del activo eléctrico a los costos de interrupción de la red.

Fuerte evolución de la **tendencia de digitalización en la industria eléctrica**.

Soluciones para Pruebas y Monitoreo

- Transformadores de potencia.
- Interruptores.
- Subestaciones aisladas en gas (GIS).
- Cables MT/AT/EXTRA AT.
- Equipo de conmutación MT/BT.
- Baterías.
- Transformadores de corriente y tensión.
- Relés de protección.
- Medidores y transductores.
- Máquinas rotativas.
- Variadores de frecuencia.
- Líneas eléctricas aéreas



¿Porque?

- Manejo de activos – decisiones informadas
- Priorizar – asignación de recursos
- Reducir paros no planeados
- Maximizar la utilización de recursos
- Reducir los riesgos de falla catastrófica
- Incrementar la seguridad
- Planeación estratégica
- Extender vida útil
- Reducir costos
- Cumplir con requisitos de seguro y estándares en la industria



Ejemplos de implementación

Empresa de pública Generación

- Población de activos envejeciendo
- Incremento en presión por obtener el mayor valor
- Se implemento un plan de manejo de activos como respuesta

Empresa privada de Generación

- 87 plantas de generación con capacidad de 27GW
- 800 transformadores (>250 GSU)
- Fallas en 2 transformadores principales
- “Desconocemos la condición general de transformadores críticos”

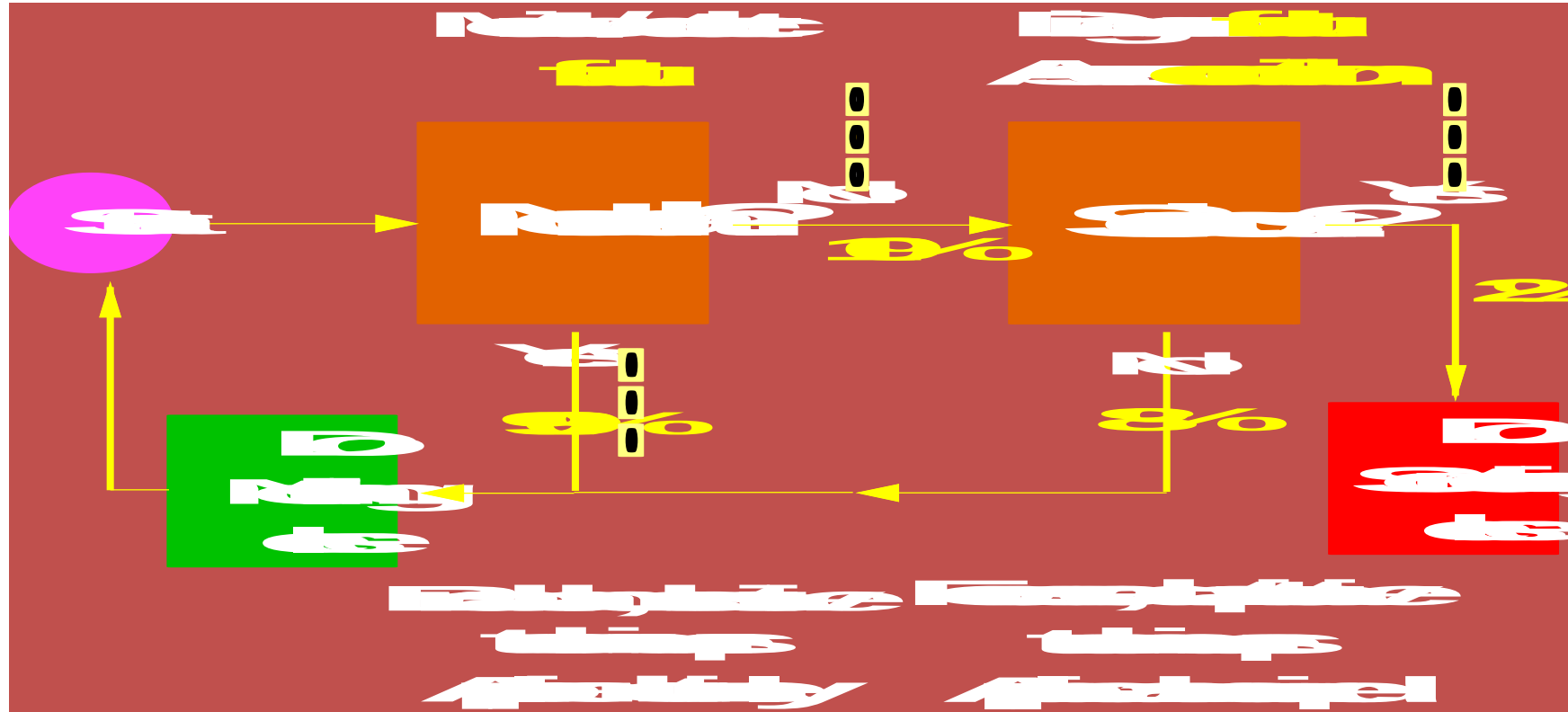
Empresa de T&D nacional

- Dividida en 4 regiones del Medio Oriente
- Una región presentaba tasa de falla mayores
- Se implemento una evaluación de la flota (AHR/CBM)

Proceso

1. Elementos clave
2. Consolidar información existente
3. Análisis Gap
4. Realizar pruebas
5. Análisis de datos
6. Identificar unidades con problemas
7. Asignar clasificación basada en condición y criticalidad (ranking)

Metodología



Beneficios

Examinar datos de una población de transformadores

- Identificación rápida de problemas
- Ranking
 - De “normal” a “atención inmediata”
 - Visibilidad de problemas dentro de población
- Manejo de problemas en etapas iniciales
- Soporte en decisiones para realizar pruebas adicionales o evaluación de riesgo
- Se pueden identificar patrones
- Mejorar confiabilidad de la flota

Pasos Iniciales

Registro de activos – Nomenclatura

- Características (kV, MVA, %Z, fabricante, familia)

Operación histórica

- Puesta en servicio
- Años de operación
- Carga histórica
- Eventos (descargas atmosféricas, maniobras, reparaciones)

Fallas

- Fallas internas
- Falla en componentes (bushings, apartarrayos, bombas, etc)
- Cortocircuito (numero, magnitudes, duración, tipo)

Revisión de documentos y publicaciones (reportes de fallas, reportes de fabricantes, etc.)

Pasos Iniciales

Evaluación en servicio

- Inspección visual
- Pruebas al aceite
- Termografía
- Prueba de descarga parcial (escaneo)

Evaluación fuera de servicio

- Factor de potencia
- Capacitancia
- Relación de transformación
- Resistencia de devanado (CD)
- Reactancia de dispersión
- FRA/SFRA
- DFR/VFPF

Inspección Externa

Inspección visual del transformador

Fugas, corrosión

Bushings

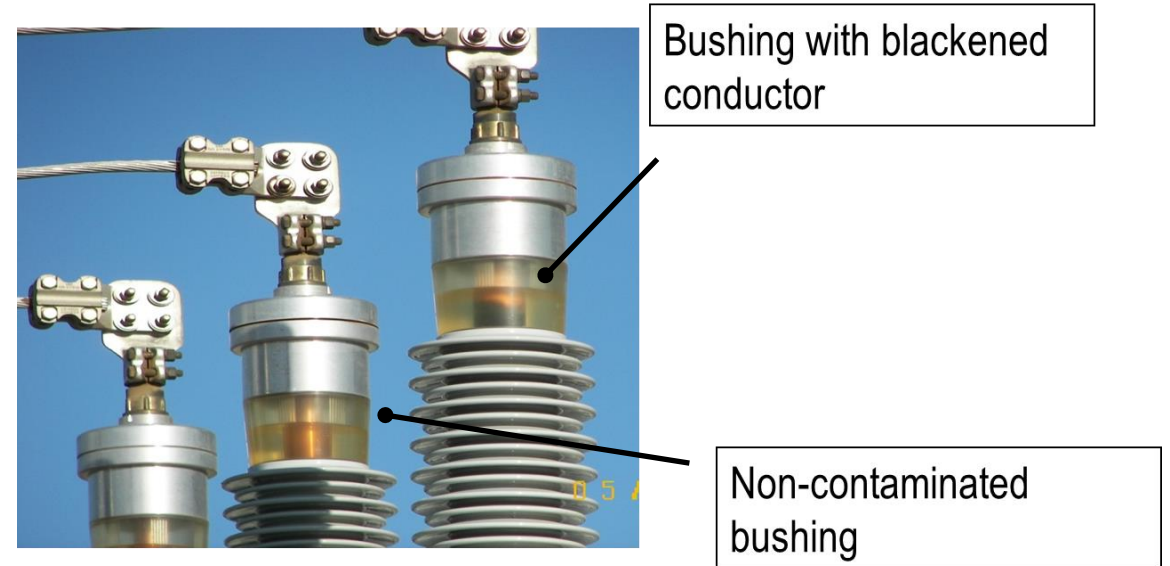
Tanque conservador

LTC

Apartarrayos

Sistema de enfriamiento

Termografía



Prueba en servicio: Descargas parciales

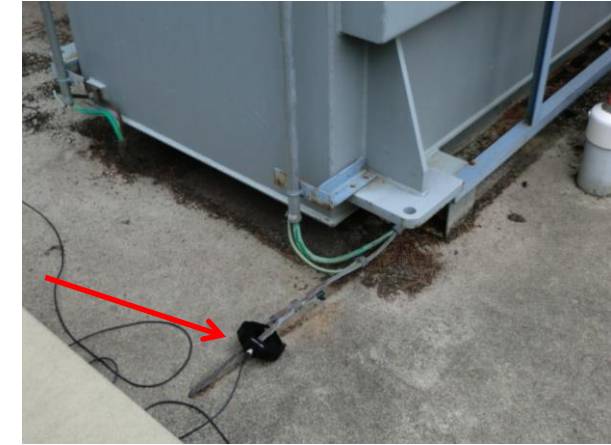
UHF Antenna



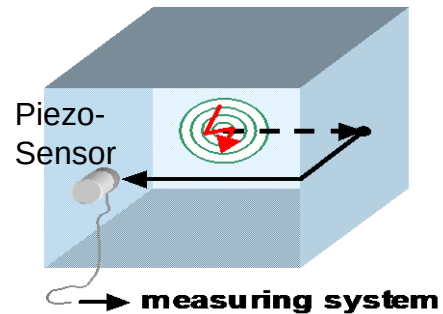
Hatch Sensor



HFCT



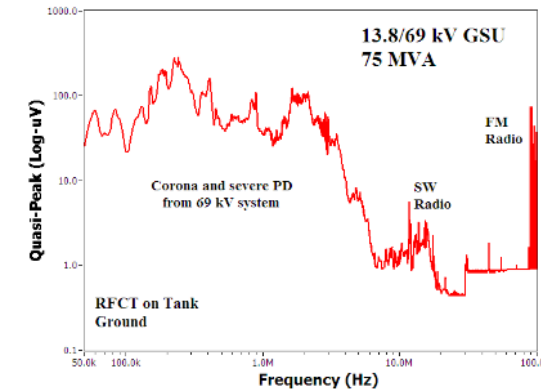
Acoustic Measurements - Location



RFI



EMI



TEV Probe

Calidad de los datos

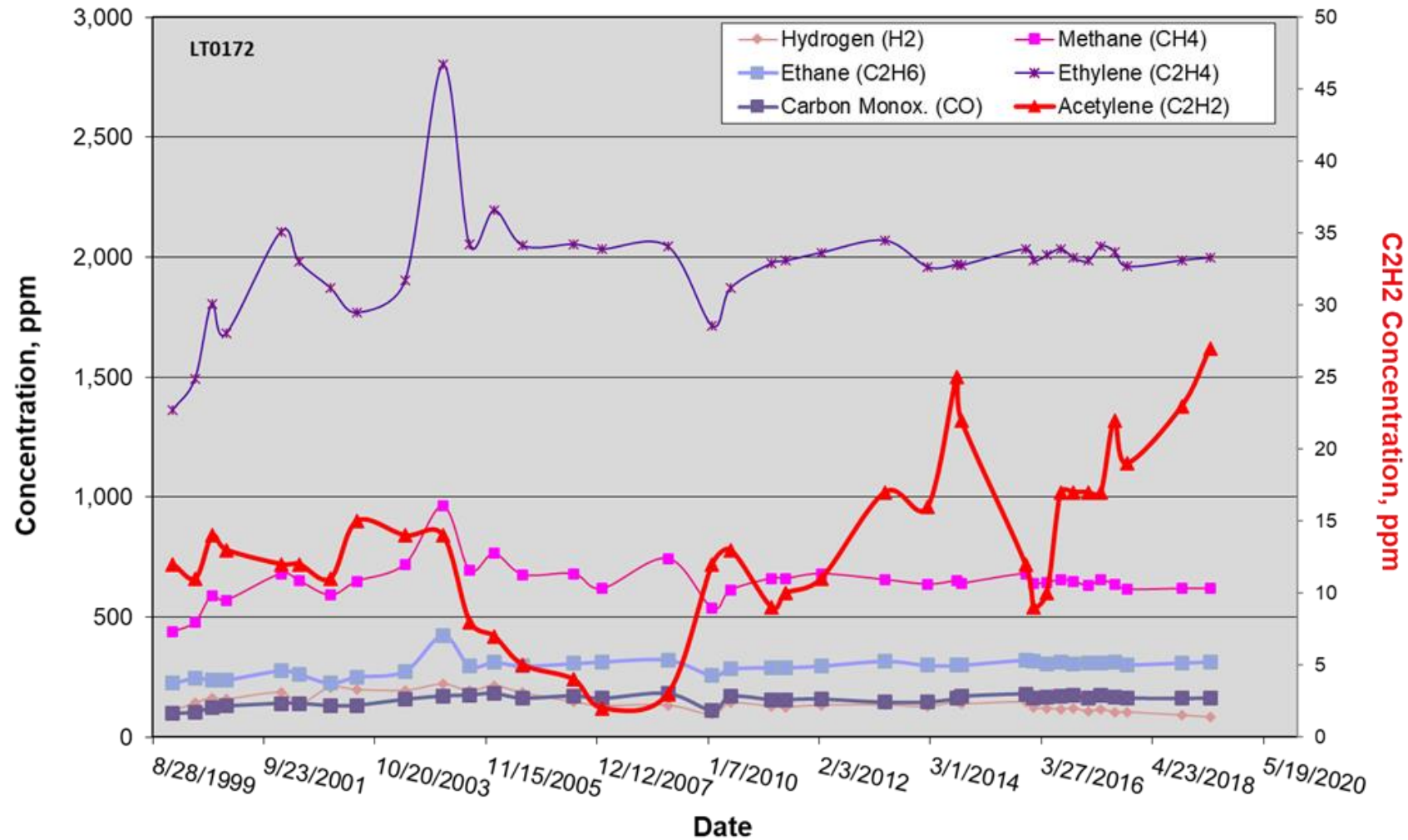
Datos de aceite

- Muestra de laboratorio
- Método utilizado
- Sistema de monitoreo
- Pruebas elegidas
- Muestreo
- Calidad del laboratorio (certificaciones)

Pruebas eléctricas

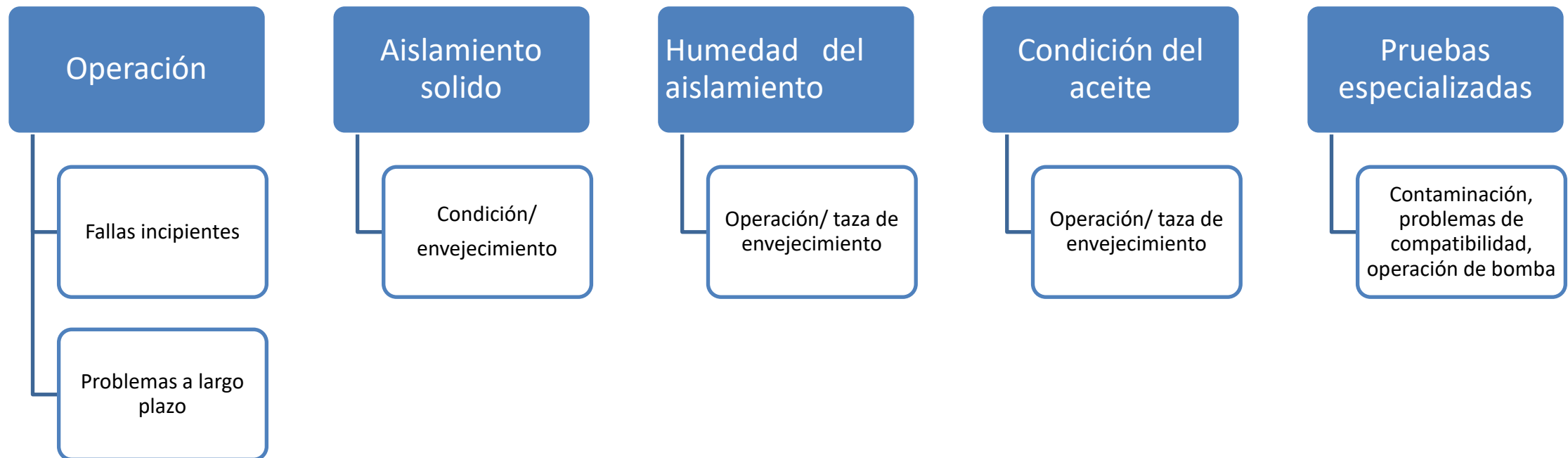
- Procedimiento de prueba adecuado
- Entrenamiento periódico de personal
- Pruebas iniciales de referencia
- Datos de fabrica
- Pre análisis en campo

Análisis de tendencia



Pruebas al aceite

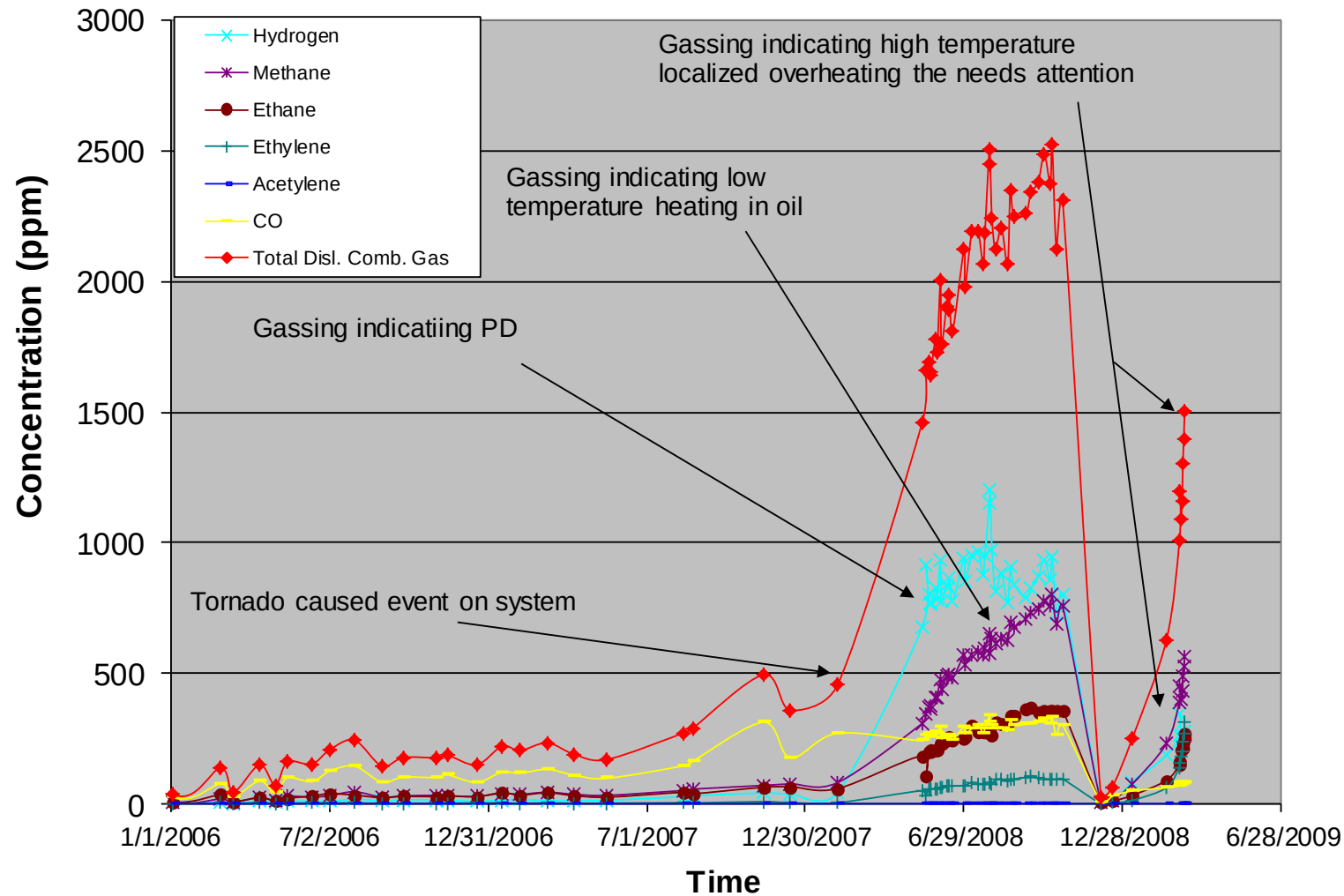
AGD	AGD Furanos MeOH/EtOH DP	Humedad -%RS -Contenido de agua -Pruebas dieléctricas	Oil Quality -IFT -Acid -PF	-Azufre corrosivo -Pasivador -Espuma -Metales
-----	-----------------------------------	--	-------------------------------------	--



Analizar tendencia (datos de monitoreo)

- Tipo de fluido
- Tipo de condición
- Taza de generación de gases
 - Cambios
 - Gases específicos
- Papel envuelto
- Familia de transformadores
- Condiciones operativas
- Otra información relevante – mantenimiento, reparaciones

Ejemplo: problema con unidad Auxiliar



Evaluación de celulosa

Envejecimiento y deterioro

Monóxido y dióxido de carbono

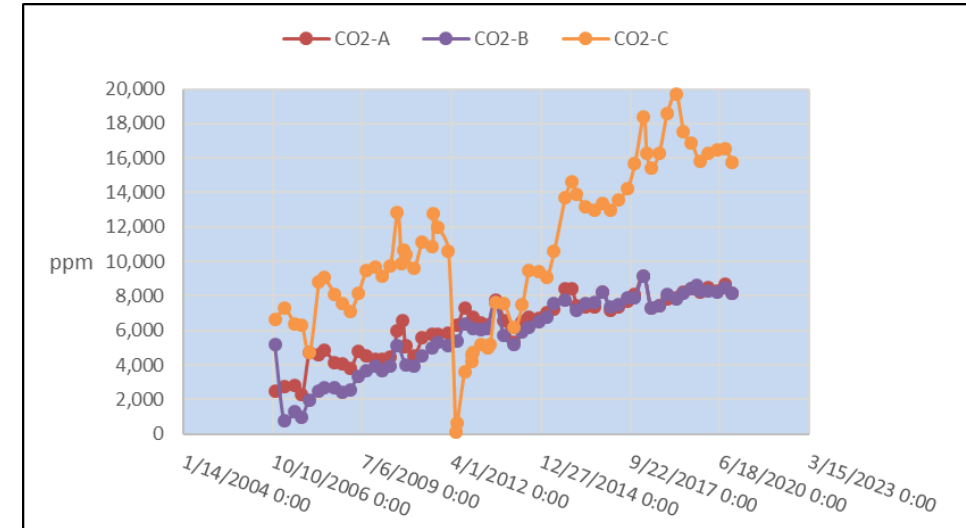
Furanos

Metanol / etanol

Grado de polimerización*



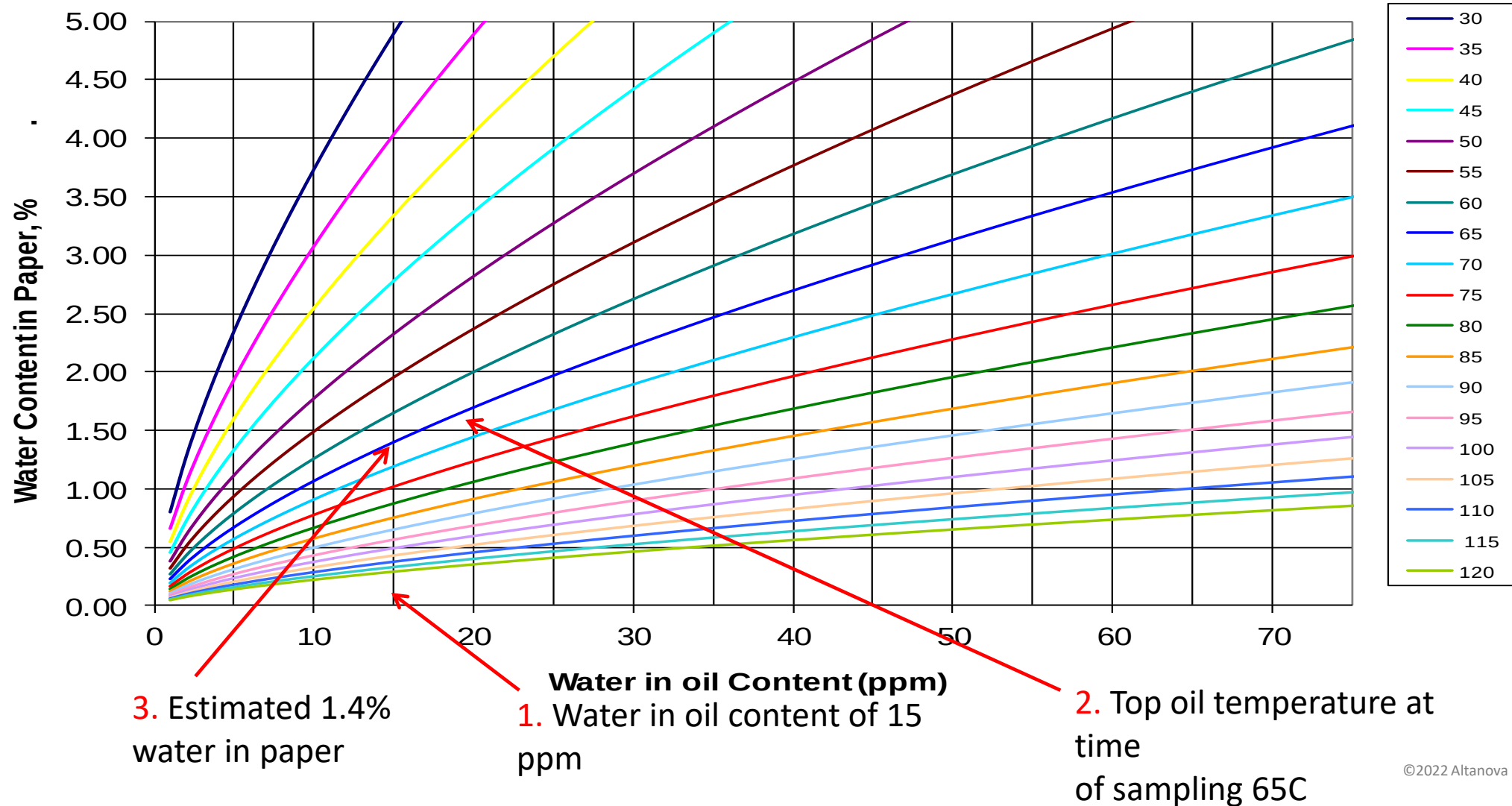
* Fuera de servicio



EQ.ID	Preserv.	Man Year	MVA	CO (2013-17) ppm	2FAL	Est DP	%age Life	est. life yrs.
TR01A	Gel Breather	1982	40	319	9.74	146	0	0
TR04A	Gel Breather	1981	40	283	8.66	161	0	0
TR02A	Gel Breather	1982	40	551	7.78	174	0	0
TR02B	Gel Breather	1981	46	646	5	228	10	3.5
TR02C	Gel Breather	1981	40	1002	4.96	230	11	3.85
TR01B	Gel Breather	1981	40	1116	4.46	243	14	4.9
TR01C	Gel Breather	1982	40	616	4.33	247	16	5.44
TR02D	Gel Breather	1982	40	696	3.55	272	23	7.82
TR01D	Gel Breather	1982	40	364	2.38	321	34	11.56
TR03A	Gel Breather	1968	31.5	423	1.34	393	49	23.52
TR03B	Gel Breather	1968	31.5	472	1.25	401	51	24.48

Calidad de los datos

Mineral Oi I - Paper Moisture Equilibrium Curve



Efectos asociados al agua

Rigidez dieléctrica de aceite

- Saturación relativa %

Rigidez dieléctrica de papel

- 2-4% agua en papel afecta significativamente

Taza de envejecimiento del papel

- Contenido de agua

Riesgo de generación de burbujas

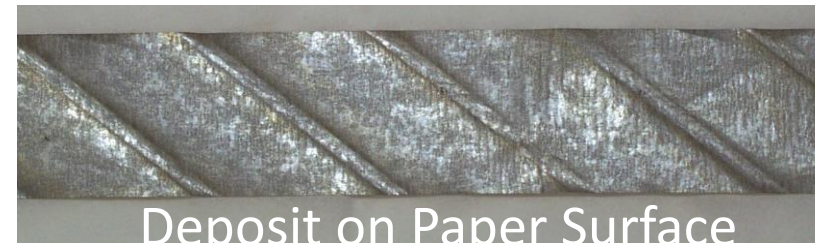
Operate Below	Water in Paper
180°C	<0.5%
140°C	2.0%

Water Content of Paper, % by weight	Life of Paper at 90°C years
0.5	151
1.0	76
2.0	38
4.0	19
8.0	8

Contaminación por azufre corrosivo

Concentración
Cobre
Sulfuro

78.4%
17.4%



Coats Conductors with
More Resistive Layer

ASTM D1275



Doble CCD Tests



Copper Sulfide Flaking from Bus
Ring Associated
with In-Tank Load Tap Changer -
Resulted in Flash Over

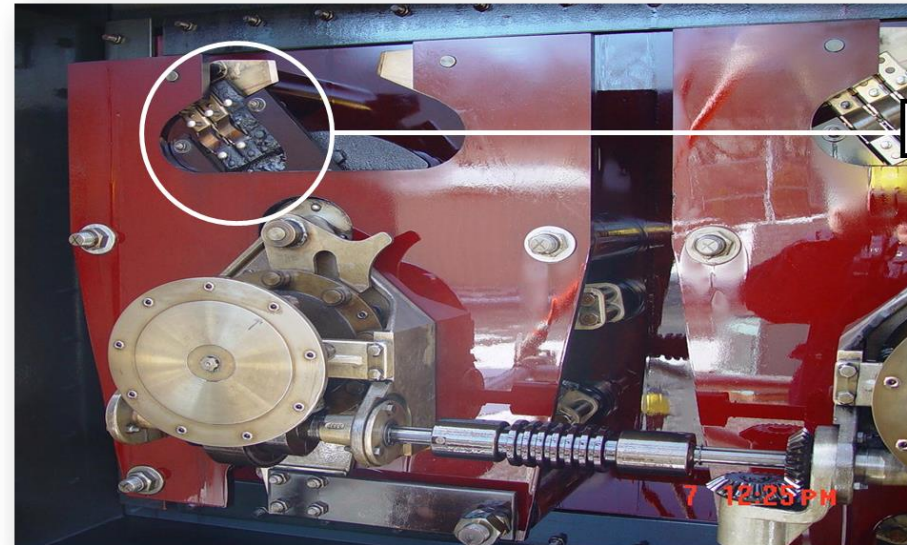


LTC - McGraw Edison 550C

GAS	LTC, ppm
Hydrogen	177
Oxygen	25,490
Nitrogen	67,800
Methane	1800
Carbon Monoxide	178
Ethane	1454
Carbon Dioxide	750
Ethylene	3295
Acetylene	14.6
Total Combustibles	6919

GAS Ratio and Code	LTC
Methane/Acetylene	123
Ethylene/Acetylene	226
(H ₂ +C ₂ H ₂)/TCG-CO	0.03
Doble Condition Code	1

LTC - McGraw Edison 550C



Coking on reversing switch

Pruebas Eléctricas: Fuera de servicio

Datos actuales e históricos

Para detectar problemas **eléctricos/térmicos**, **mecánicos** y **magnéticos**

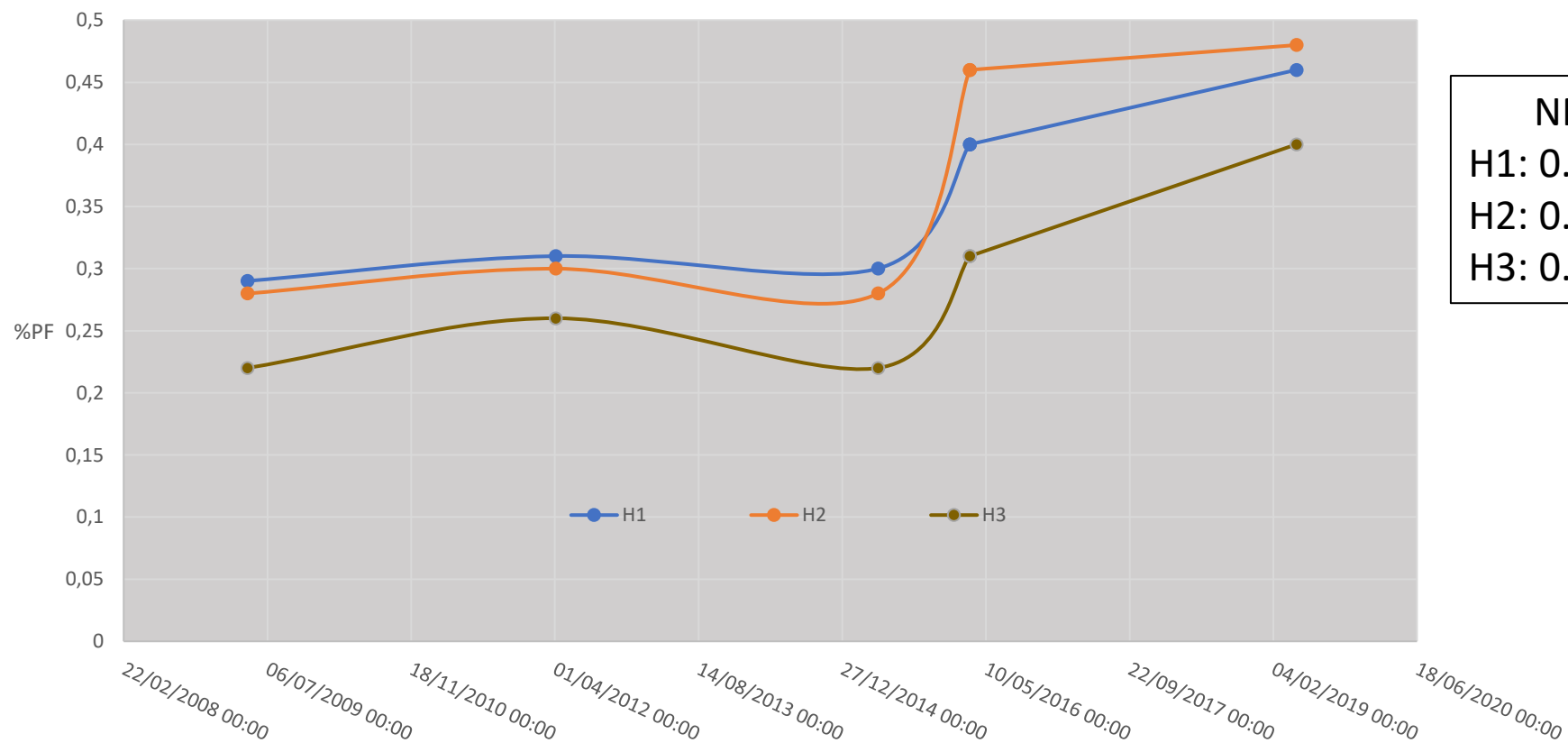
- » **Factor de potencia & Capacitancia:** Contaminación, deterioro, corto en espiras (transformador y bushing)
- » **Resistencia de aislamiento del núcleo:** Deterioro
- » **Resistencia de devanado:** Problemas en conexiones y contactos
- » **Corriente de excitación:** corto en espiras, problemas en circuito magnético
- » **Reactancia de dispersión:** Deformación de devanado
- » **Sweep Frequency Response Analysis (SFRA):** Deformación de devanado, movimiento, corto en espiras
- » **Transformer Turns Ratio (TTR):** Corto en espiras
- » **Pruebas en apartarrayos:** Deterioro

Análisis de tendencia: Bushings de 25kV

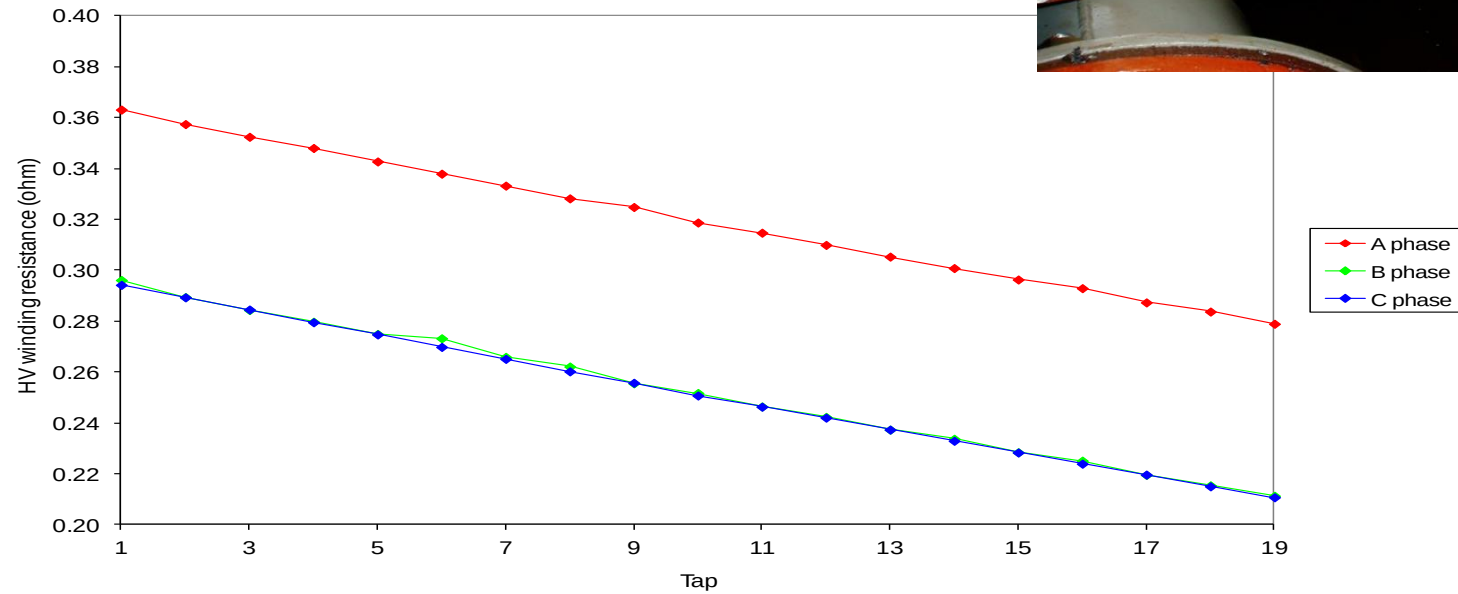
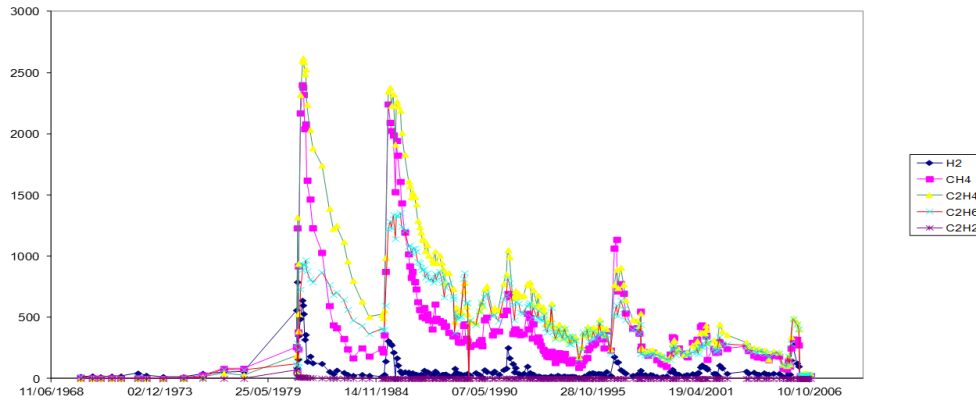
	Power Factor		Capacitance		
	N/P	Measured	N/P	Measured	% Change
Bushing 1	.32	.94	573	624	8.2
Bushing 2	.25	1.99	640	815	21.5
Bushing 3	.25	.86	586	594	1.4
Bushing 4	.25	.87	576	584	1.4
Bushing 5	.34	.26	601	616	2.4

Bushings 1-4 reemplazadas - aceite en deteriorado
Bushing 5 en buenas condiciones

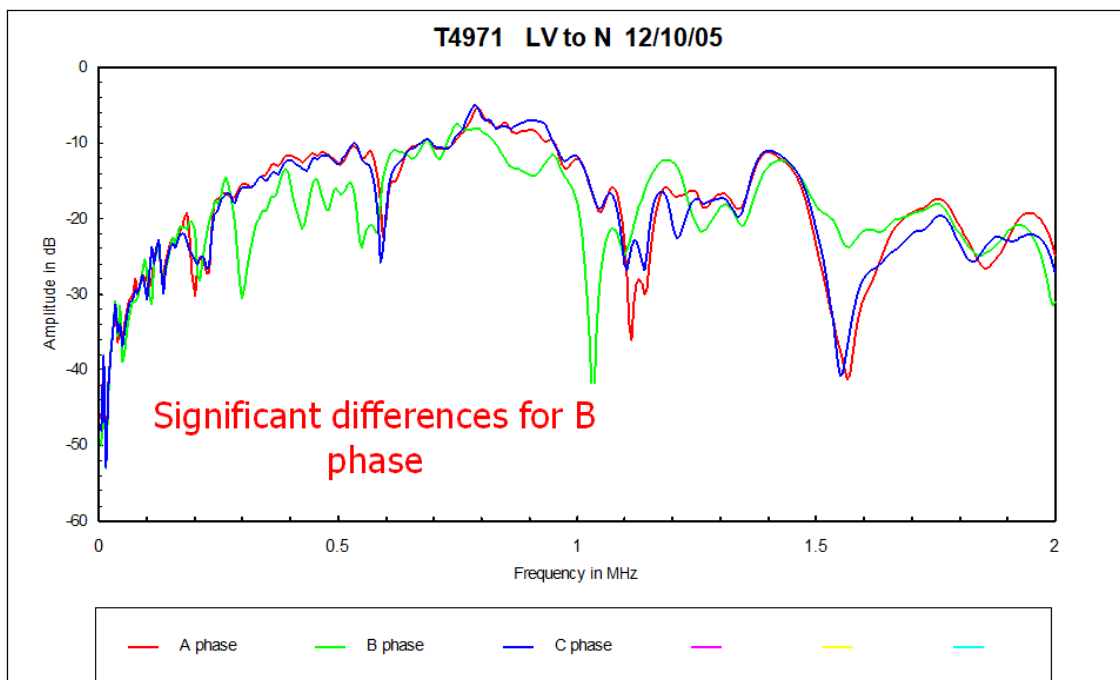
GE tipo U – C1



Problemas térmicos



Deformación mecánica



	A phase	B phase	C phase
Main windings to earth	4,246 pF 0.75 %	3,368 pF 0.51 %	4,273 pF 0.62 %
Main windings to tertiary	8,277 pF 0.42 %	5,775 pF 1.91 %	9,030 pF 0.54 %

Análisis forense

Obtener la mayor información para identificar deterioro y debilidades en el diseño

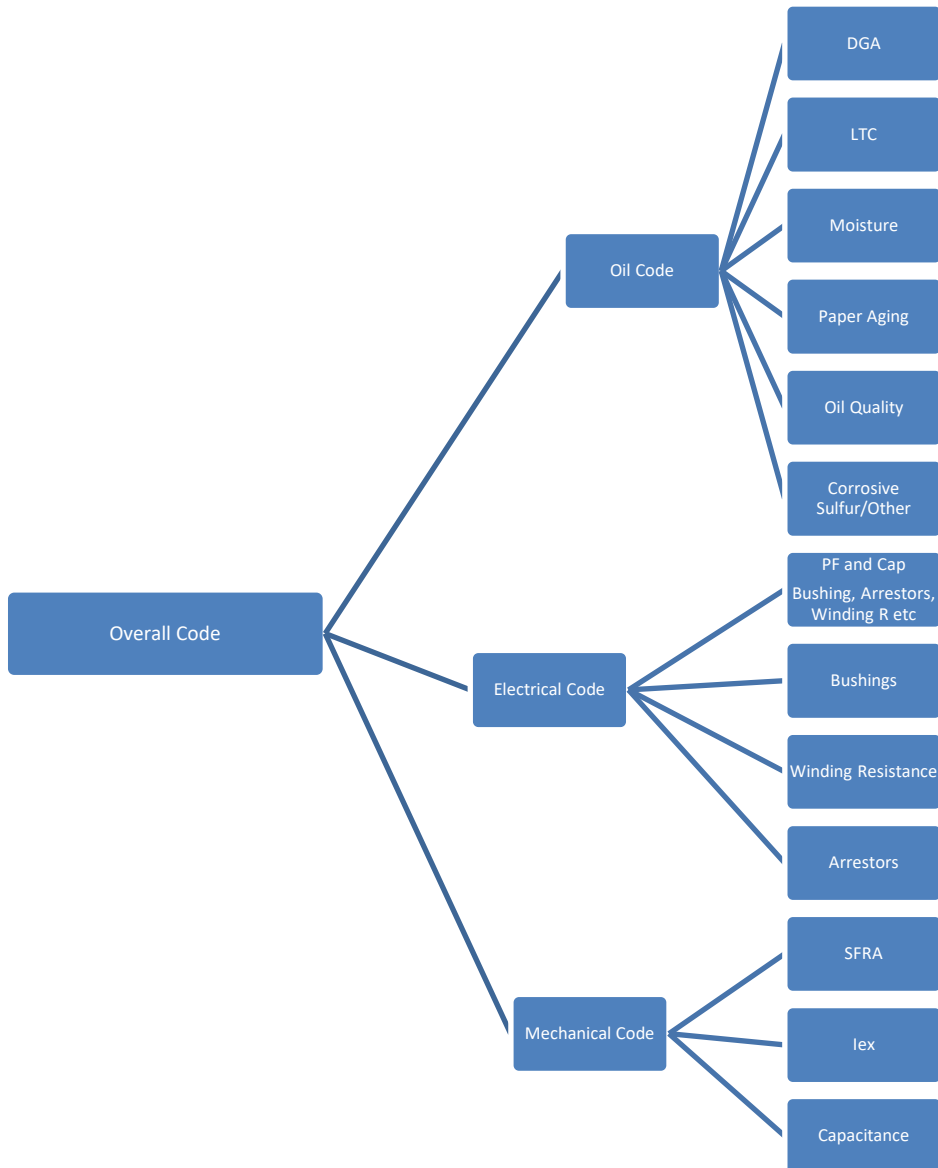


Análisis de Salud de Activos

Ejemplo de puntuación:

- 5 Excelente – sin problemas
- 4 Bien – problemas menores
- 3 Moderado – Posible problema que debe ser monitoreado
- 2 Problema evidente que requiere atención o mayor investigación
- 1 Fuerte evidencia de problema serio que requiere atención inmediata

Análisis de Salud de Activos



Code 1: Immediate Attention

Code 2: Action in near future

Code 3: Monitor data-possible issue

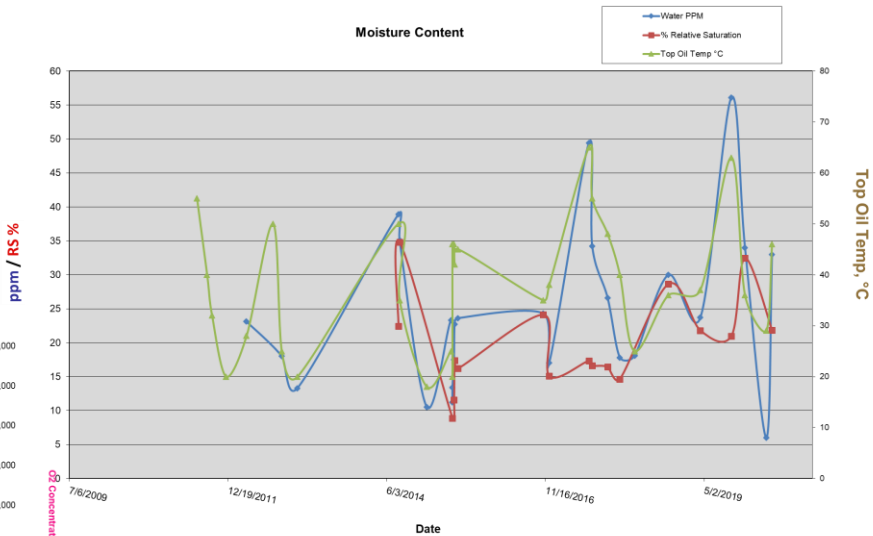
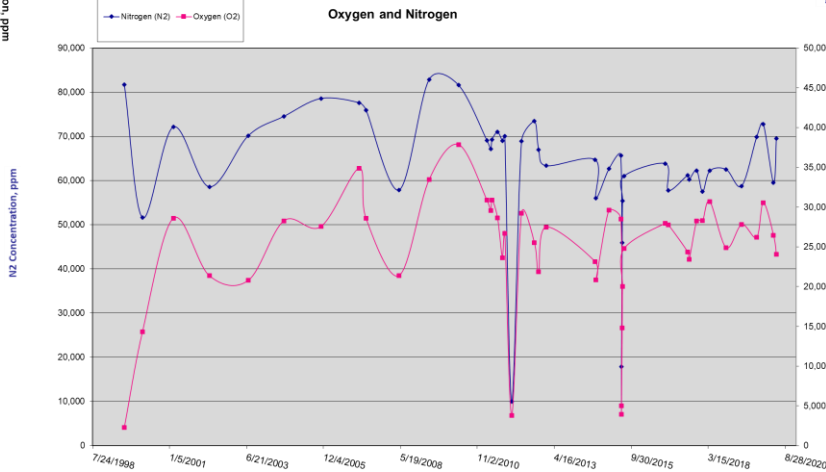
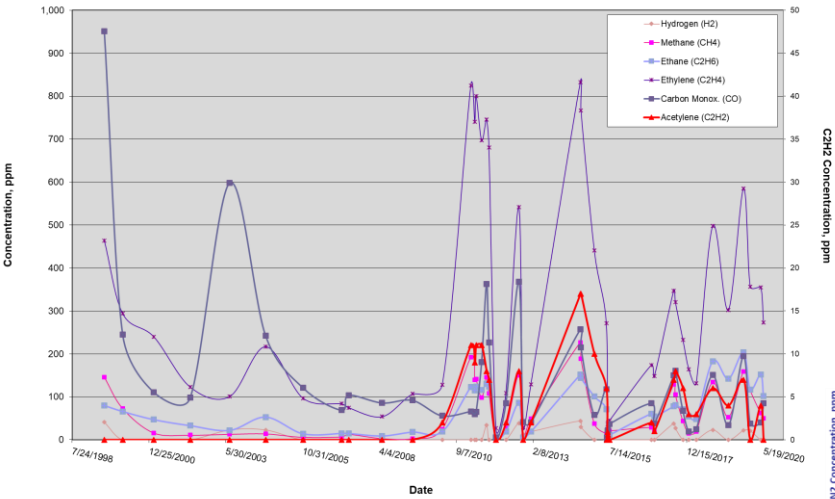
Code 4: Normal aging-normal sample schedule

Code 5: No problems detected-normal sample schedule

Code 0: No Data

Code OMP: Incomplete Data

Ejemplo



Date

3

Display History for Test Row:

...

6/9/2015

10.000

9.952

27.994

2.614

0.92

0.934

0.862

7431.5

⚠

Investigate

...

Unrated

U

...

9/18/2012

10.000

10.000

29.044

1.273

1.00

0.438

0.439

7704.2

🟢

Good

...

Unrated

U

...

10/8/2002

10.000

10.000

28.780

0.993

0.95

0.345

0.328

7636.0

🟢

Good

...

Unrated

U

...

3/27/1990

10.000

10.000

28.500

0.850

0.99

0.298

0.296

7550.0

🟢

Good

...

Unrated

U

Ejemplo

Serial Number	Overall Transformer Code	Oil Code	Electrical Code	Mechanical Code	Aging Code
123456	2	2	3	5	2

Most Recent Sample date Oil	DGA Code	Paper Aging Code (FAL and COs)	Oil Quality Code	Moisture Code	Corrosive Sulfur Code
XFMR: 5/19/2020 LTC: 4/9/2020 Selector: 4/9/2020	2	2	3	2	0

Electrical Data On File	Overall Power Factor Code	Overall Capacitance Code	Bushing Code	Winding Insulation Resistance Code	Core Insulation Resistance Code	Winding Resistance Code	Arrester Code	Exciting Current Code	Turns Ratio Code	Leakage Reactance Code	SFRA Code	LTC DGA & Condition Code	Selector DGA & Condition Code
1990, 2002, 2012, 2015	3	5	5	0	0	0	5	5	5	0	0	4	2

Ejemplo

Substation	Overall Transformer Code	Oil Code	Electrical Code	Mechanical Code	Most Recent Sample date Oil	DGA Code	Paper Aging Code (FAL and CO	Oil Quality Code	Moisture Code	Corrosive Sulfur Code	Most Recent Electrical Test Date	Overall Power Factor Co	Overall Capacitance Code	Bushing Code	Winding Insulation Resistance Code	Core Insulation Resistance Code	Winding Resistance Code
B	4	4	5	5	9/22/15	5	3	4	4	0	2014	5	5	0	5	0	0
C	1	1	3	5	9/22/15	1	4	4	4	0	2014	3	5	OMP	5	OMP	0
D	4	4	5	5	11/13/2015	4	4	4	3	0	2015	5	5	0	5	0	0
E	3	3	3	3	9/22/2015	4	3	4	3	0	2015	3	3	0	5	0	0
F	4	4	5	5	9/22/2015	4	4	4	3	0	2014	5	5	0	5	0	0
G	2	2	3	5	5/26/2016	4	3	2	3	0	2014	5	5	3	5	0	5
H	3	3	5	5	3/25/2015	3	3	4	4	0	2014	5	5	5	5	0	5

Fácil de agrupar
Establecer prioridades
Información faltante

Ejemplo

Condición actual y mitigada

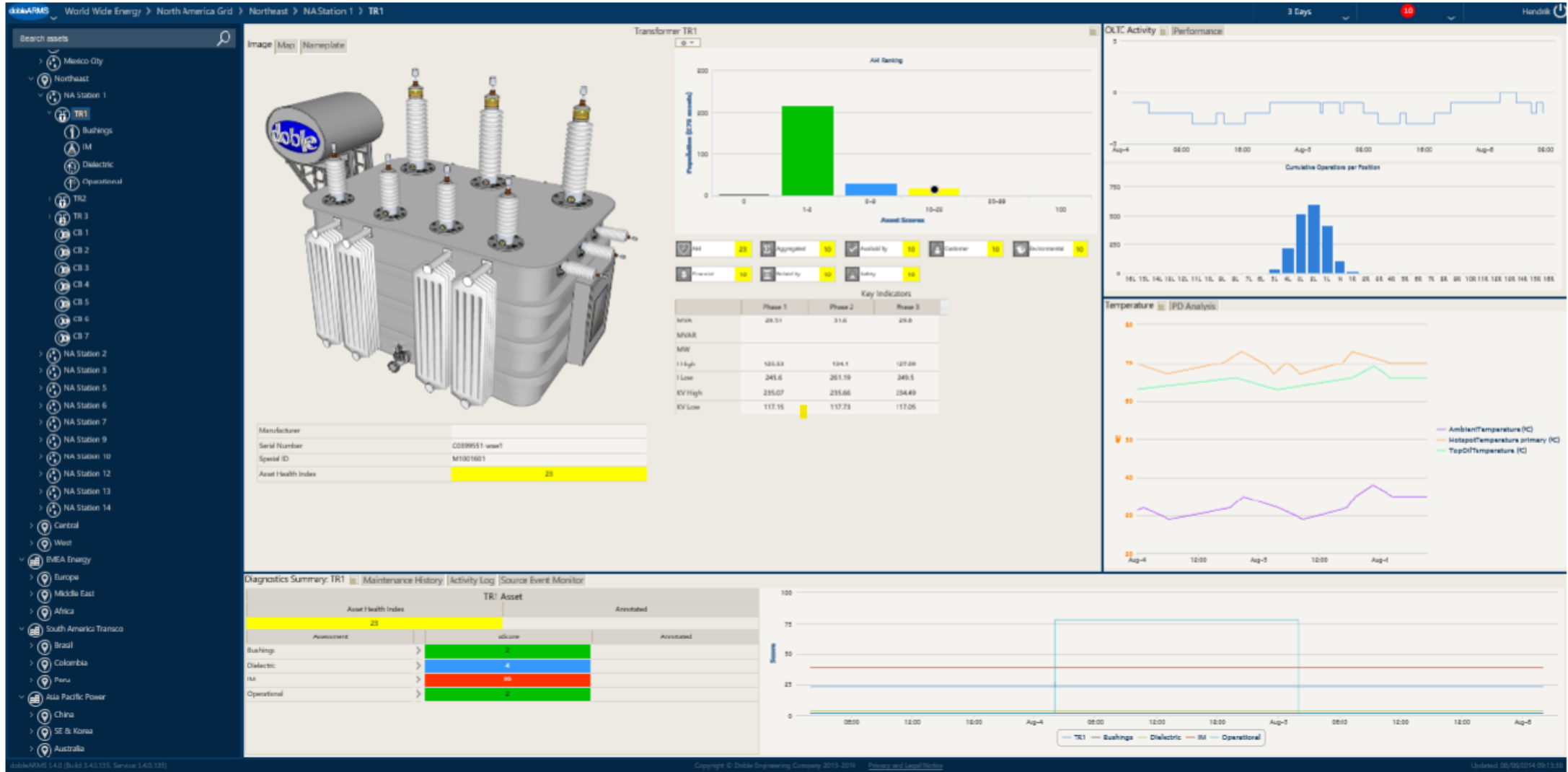
Posible mejora*

Puntuación de subcomponentes

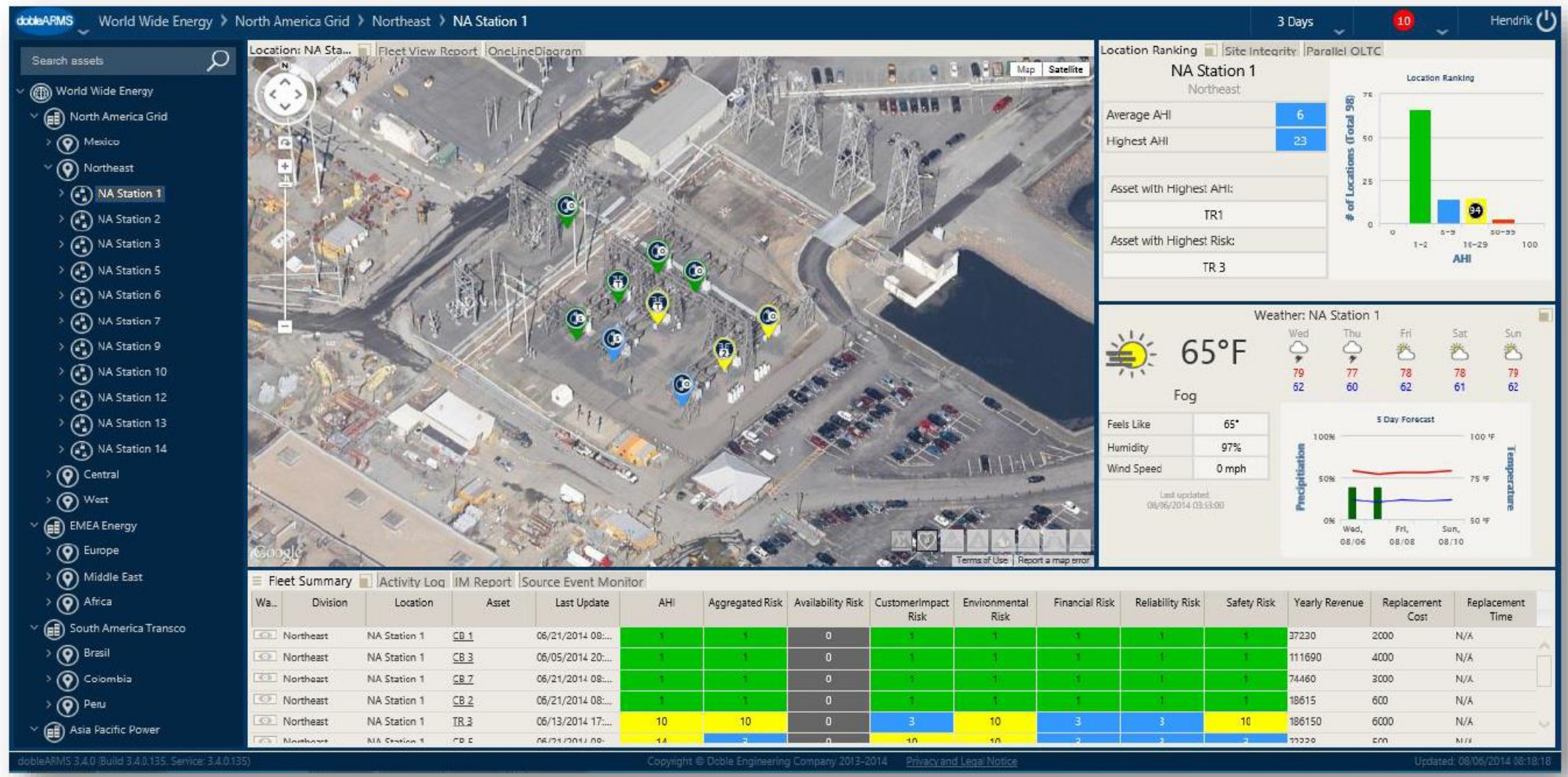
T-Nº	Ratio	Rated P	Manufact	Design	sign	Year	Overall Condition			Core and Windings			Oil		OLTC	Exterior
							Now	Mitigated	Possible Im	Dielectric	Thermal	Mechanic	Ageing	Contamina		
T4315	400/132 kV	240 MVA	AEI Wythen	A04a	32	1965	221	213	8	100	100	1	13	10	3	10
T3040	275/132 kV	120 MVA	EEC	E11b	32	1959	170	103	68	30	60	1	190	10	10	10
T6975	400/275 kV	1000 MVA	GEC	G02b	104	1994	170	135	35	30	60		36	100		1
T3039	275/132 kV	120 MVA	EEC	E11b	32	1959	154	143	11	30	100	1	23	10	10	3
T4259	275/66 kV	180 MVA	CP	D07	12	1965	152	126	26	60	60	1	70	10	1	
T2370	275/132 kV	120 MVA	MVE	M01	5	1957	151	94	57	30	60	1	160	10	3	10
T5961	400/275 kV	750 MVA	HHE	H02	111	1971	147	100	47		60		140			3
T6201	275/33 kV	100 MVA	PPT	P21	104	1972	144	139	5	1	3	100	13		1	10
T5566	400/132 kV	240 MVA	CAP	C04	32	1968	138	85	54	10	60	1	140	30	1	
T4409	275/132 kV	240 MVA	HHE	H07a	12	1964	133	107	26	1	100	1	70	10	3	
T5581	400/132 kV	240 MVA	AEI Wythen	A04b	102	1967	132	106	26	10	60	1	70	10	3	
T4686	400/132 kV	220 MVA	PPT	P06a	131	1967	131	107	24	1	60	1	63	10	1	10
T4406	275/132 kV	240 MVA	HHE	H07a	12	1964	129	106	23	1	100		63	10	1	
T2300	275/132 kV	120 MVA	EEC	E11a	102	1955	129	105	24	10	60	1	70		1	10
T4258	275/132 kV	240 MVA	HHE	H07a	12	1966	129	106	23	1	100		63	10	1	
T3041	275/132 kV	120 MVA	EEC	E11b	32	1959	129	107	22	30	60	3	43	30	10	
T2521	275/132 kV	120 MVA	FER	F08	120	1956	124	105	19	3	60	1	50	10	1	
T3583	275/132 kV	180 MVA	FUL	L05	111	1962	122	99	23	1	60		63	10	1	
T5434	400/132 kV	240 MVA	AEI Wythen	A04b	102	1967	122	96	26	1	60		70	10	3	
T3139	275/66 kV	120 MVA	AEI Rugby	A10	3	1960	122	106	16	100	3	1	40	10	1	

*algunas categorías son irreversibles o no pueden mejorar, como el caso de envejecimiento de aislamiento solido

Ejemplo



Ejemplo



- El análisis de salud es una herramienta importante para el manejo de activos
- Un programa exitoso se basa en un gran rango de datos
- Se pueden identificar riesgos y oportunidades – extensión de vida útil
- La información se consolida
- Soporte para toma de decisiones



ALTANOVA

A DOBLE COMPANY



Gracias por su atención

Roberto Martinez Betancourt
Principal Engineer – Field Services
Doble Engineering